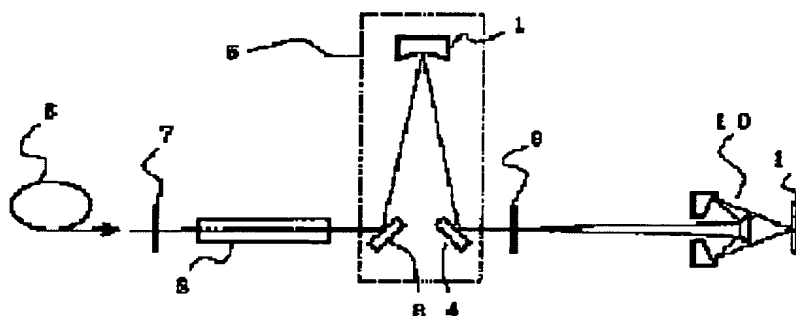



☐ Include in patent order

MicroPatent® Worldwide PatSearch: Record 2 of 4


[Family Lookup](#)

JP07094396

X-RAY PROJECTION ALIGNER

NIKON CORP

Inventor(s): ;MURAKAMI KATSUHIKO ;MAJIMA KIYOTO ;NAGATA HIROSHI

Application No. 05237591 , Filed 19930924 , Published 19950407

Abstract:

PURPOSE: To provide an X-ray projection aligner, with. lighting optical system which is capable of incoherent lighting of a mask and hence can maximize the performance of an image-forming system.

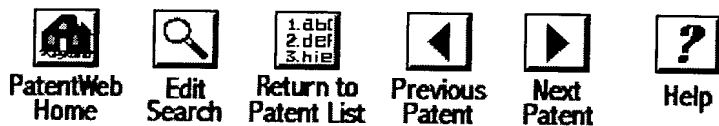
CONSTITUTION: The title device consists of at least an X-ray source 6, a lighting optical system 5 for applying X rays emitted from the X-ray source 6 to a mask 9, and a projection optical system 10 for forming the image of the pattern formed on the mask 9 on a wafer 11 by projection. Therefore, at least one mirror out of mirrors constituting the lighting optical system 5 is a spherical surface mirror 1 which is formed by forming an X-ray reflection multilayer film on a substrate surface with spherical surface shape and the spherical mirror 1 is provided at a position where incidence X rays enters the spherical mirror 1 nearly vertically. Also, the spherical surface mirror 1 has a radius of curvature and outer

diameter where the dispersion angle of reflection X rays focused on the mask 9 laid out near the focus point of the spherical mirror 1 nearly matches the numerical aperture incidence side of the projection optical system 10.

Int'l Class: H01L021027 G03F00720

MicroPatent Reference Number: 002492455

COPYRIGHT: (C) 1995 JPO



For further information, please contact:
Technical Support | Billing | Sales | General Information

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-94396

(43)公開日 平成7年(1995)4月7日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027				
G 0 3 F 7/20	5 0 3	9122-2H 7352-4M	H 0 1 L 21/ 30	5 3 1 A

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 5 頁)

(21)出願番号 特願平5-237591

(22)出願日 平成5年(1993)9月24日

特許法第30条第1項適用申請有り 1993年6月19日 財団法人日本学会事務センター発行の「Digest of Papers MicroProcess '93 The 6th International MicroProcess Conference」に発表

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 村上 勝彦

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72)発明者 真島 清人

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72)発明者 永田 浩

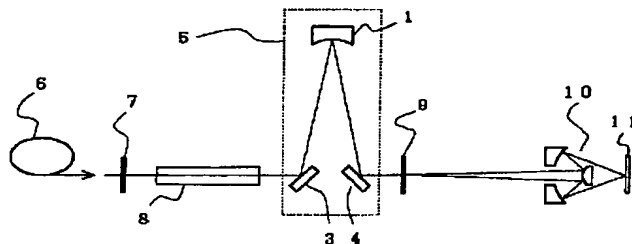
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(54)【発明の名称】 X線投影露光装置

(57)【要約】

【目的】 マスクのインコヒーレント照明が可能であり、そのため結像系の性能を最大限に発揮させることのできる照明光学系を有するX線投影露光装置を提供する。

【構成】 少なくとも、X線源6と、該X線源6から発するX線をマスク9上に照射する照明光学系5と、前記マスク9上に形成されたパターンの像をウェファー11上に投影結像する投影光学系10と、からなるX線投影露光装置において前記照明光学系5を構成するミラーのうち、少なくとも一つのミラーが球面形状を有する基板面にX線反射多層膜を形成してなる球面ミラー1であって、該球面ミラー1への入射X線が略垂直に入射する位置に該球面ミラー1が設けられ、かつ、該球面ミラー1の集光点近傍に配置したマスク9上に集束する反射X線の発散角が前記投影光学系10の入射側開口数と略一致するような曲率半径及び外径を該球面ミラー1が有することを特徴とするX線投影露光装置。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも、X線源と、該X線源から発するX線をマスク上に照射する照明光学系と、前記マスク上に形成されたパターンをウェファー上に投影結像する投影光学系と、からなるX線投影露光装置において、

前記照明光学系を構成するミラーのうち、少なくとも一つのミラーが球面形状を有する基板面にX線反射多層膜を形成してなる球面ミラーであって、該球面ミラーへの入射X線が略垂直に入射する位置に該球面ミラーが設けられ、かつ該球面ミラーの集光点近傍に配置したマスク上に集束する反射X線の発散角が前記投影光学系の入射側開口数と略一致するような曲率半径及び外径を該球面ミラーが有することを特徴とするX線投影露光装置。

【請求項2】 前記X線源がシンクロトロン放射光光源であり、前記照明光学系が少なくとも、平面基板にX線反射多層膜を形成してなる第1及び第2の平面ミラーと前記球面ミラーとからなり、該第1の平面ミラーが前記放射光光源から出射したX線を前記放射光光源の電子ビームの軌道面に対して略垂直な方向に反射する位置に設けられ、前記球面ミラーが該第1の平面ミラーによる反射X線を略垂直に反射する位置に設けられ、かつ、前記第2の平面ミラーが該球面ミラーによる反射X線を前記放射光光源からの出射光と略平行な方向に反射する位置に設けられていることを特徴とする請求項1記載のX線投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、X線リソグラフィー等に用いられるX線投影露光装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、半導体集積回路素子の微細化に伴い、光の回折限界によって制限される光学系の解像力を向上させるために、従来の紫外線（波長193～436nm）に代わって、これより波長の短い軟X線（波長5～20nm）を使用した投影リソグラフィー技術が開発されている。この技術に使用されるX線投影露光装置は主としてX線源、照明光学系、マスク、結像光学系、ウェファーステージ等により構成される。

【0003】X線の波長域では、透明な物質は存在せず、また物質表面での反射率も非常に低いので、レンズやミラーなどの通常の光学素子を使用できない。そのため、X線用の光学系は、特殊な多層膜をコーティングした多層膜ミラーや、X線の全反射を利用した斜入射ミラー等により構成されている。X線源には、放射光光源（Synchrotron Radiation Source）またはレーザープラズマX線源等の、強力な軟X線の得られる光源が使用される。照明光学系は、反射面に斜め方向から入射したX線を全反射を利用して反射させる斜入射ミラー、多層膜の各界面での反射光の位相を一致させて干渉効果により

高い反射率を得る多層膜ミラー、及び所定波長のX線のみを反射または透過させるフィルター等により構成され、マスク上を所望の波長のX線で照明する。

【0004】マスクは透過型マスクと反射型マスクが知られている。透過型マスクは、X線を良く透過する物質からなる薄いメンブレンの上にX線を吸収する物質を所定の形状に設けることによってパターンを形成したものである。一方、反射型マスクは、例えばX線を反射する多層膜上に反射率の低い部分を所定の形状に設けることによってパターンを形成したものである。

【0005】このようなマスク上に形成されたパターンは、複数の多層膜ミラー等で構成された投影結像光学系により、フォトリソストが塗布されたウェファー上に結像されて該レジストに転写される。なお、X線は大気に吸収されて減衰するので、その光路は全て所定の真空中に維持されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】上記のような従来のX線投影露光装置においては、その照明光学系の設計にはあまり注意が払われていなかった。J. Vac. Sci. Technol. B8, 1509 (1990) 及びJ. Vac. Sci. Technol. B7, 1648 (1989) には、2枚の同心球面鏡からなるシュバルツシルドミラーを投影結像光学系に用いたX線縮小投影露光の実験が報告されているが、いずれの場合にも照明光学系は使用せず、放射光光源から発した略平行な光線でマスクを照明していた。

【0007】一般に、光学系の解像力は結像系の性能だけでなく物体（リソグラフィーの場合はマスク）の照明の仕方に左右される。即ち、物体が平行光で照明された場合（コヒーレント照明という。）には、図3に示すように、光学系の伝達関数（OTF）は NA/λ （NAは結像系の出射側開口数、 λ は照明光の波長）で決まる空間周波数までは一定の値を示すが、この空間周波数を越えると0になってしまい解像されない。一方、物体が結像系の入射側開口数を満たすような発散角を持つ光線で照明された場合（インコヒーレント照明という。）には、OTFは空間周波数が高くなるに従い徐々に低下するが、 $2NA/\lambda$ の空間周波数まで0にはならない。従って、像のコントラストは低下するものの、インコヒーレント照明の場合の方が高い空間周波数のパターンまで解像することができる。

【0008】しかしながら、上記のような従来の技術では、マスクは略平行光で照明されているため、結像系の解像力が上記のような理由により制限されるという重大な問題点があった。J. Vac. Sci. Technol. B9, 3184 (1991) には、レーザープラズマX線源から発したX線を多層膜をコーティングした球面鏡で約45度の入射角で反射させて、マスクを照明する方法について述べられている。しかしながら、球面鏡をこのように斜め入射で使用すると大きな非点収差を生じてしまうので、マスク上の2次

元パターン的一方の方向に対しては、ある程度の発散角をもつ照明が行えても、それに垂直な方向のパターンに対しては、平行な照明になってしまう。従って、光学系の解像力に異方性が生じるという問題点がある。

【0009】球面鏡の代わりに楕円鏡を用いれば非点収差を除去できるが、これは光軸上のごく狭い範囲だけである。楕円鏡は軸外で大きな収差を持つので、均一な照明を行うことは困難である。リソグラフィーでは、マスク上のある程度の大きさの範囲を照明しなければならないので、このような照明系では適切な照明ができないという問題点がある。

【0010】また、このような一枚の多層膜ミラーによる照明は、光軸が大きく曲がってしまうので光学系の配置が複雑で調整が困難になるという問題点もある。さらに、楕円鏡は非球面形状であるので、球面鏡と比べてその加工が著しく困難である。そのため現在の加工技術ではX線の波長で使用するのに十分な加工精度を実現することができないという問題点がある。

【0011】本発明は、このような従来の問題点に鑑みてなされたもので、マスクのインコヒーレント照明が可能であり、そのため結像系の性能を最大限に発揮させることのできる照明光学系を有するX線投影露光装置を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】そのため、本発明は第一に「少なくとも、X線源と、該X線源から発するX線をマスク上に照射する照明光学系と、前記マスク上に形成されたパターンの像をウェファー上に投影結像する投影光学系と、からなるX線投影露光装置において前記照明光学系を構成するミラーのうち、少なくとも一つのミラーが球面形状を有する基板面にX線反射多層膜を形成してなる球面ミラーであって、該球面ミラーへの入射X線が略垂直に入射する位置に該球面ミラーが設けられ、かつ該球面ミラーの集光点近傍に配置したマスク上に集束する反射X線の発散角が前記投影光学系の入射側開口数と略一致するような曲率半径及び外径を該球面ミラーが有することを特徴とするX線投影露光装置（請求項1）」を提供する。

【0013】また、本発明は第二に「前記X線源がシンクロトロン放射光光源であり、前記照明光学系が少なくとも、平面基板にX線反射多層膜を形成してなる第1及び第2の平面ミラーと前記球面ミラーとからなり、該第1の平面ミラーが前記放射光光源から出射したX線を前記放射光光源の電子ビームの軌道面に対して略垂直な方向に反射する位置に設けられ、前記球面ミラーが該第1の平面ミラーによる反射X線を略垂直に反射する位置に設けられ、かつ、前記第2の平面ミラーが該球面ミラーによる反射X線を前記放射光光源からの出射光と略平行な方向に反射する位置に設けられていることを特徴とする請求項1記載のX線投影露光装置（請求項2）」を提

供する。

【0014】

【作用】以下、本発明にかかるX線投影露光装置について、図面を引用して説明するが本発明は、図面に記載されたX線投影露光装置に限定されるものではない。本発明にかかるX線投影露光装置の照明光学系では、例えば、図2に示すように、球面形状の基板にX線を反射する多層膜を形成してなる球面多層膜ミラー（球面ミラー）1を用いる。そして、該球面ミラー1を、該球面ミラー1への入射X線が略垂直に入射する位置に設けている。

【0015】ところで、斜入射で球面鏡により光線を反射すると、入射面内とそれに垂直な面内の二つの焦点を持つので、当然それらの位置は一致しない。即ち、非点収差を生じる。しかし、略垂直入射で球面鏡により光線を反射した場合には、入射面内の集光点と入射面に垂直な面内の集光点とが略一致し、球面の曲率半径を r とすると、 $f = r/2$ の距離に焦点2を結ぶ。即ち非点収差を生じることがない。

【0016】本発明では、このように球面ミラー1を略垂直入射の配置で用い、マスク9はその集光点の近傍に配置したので、マスク上のパターンは円錐形状に等方的な広がり角を持って集束する光線によって照明される。また、このときの光束の広がり角 θ が結像光学系の入射側開口数に等しくなるように、球面ミラー1の曲率半径及び外径を設定している。

【0017】即ち、本発明によれば、インコヒーレント照明の条件が満たされるので、結像光学系の解像力を最大限に発揮させることができる。また、楕円鏡を用いた場合と比べて軸外の収差が小さいために、より広い範囲を均一に照明することができる。また、本発明（請求項2）では、例えば、図1に示すように、放射光光源からのX線を、まず第1の平面多層膜ミラー（平面ミラー）3により、その進行方向を上方（または下方）へ略直角に曲げて、これを球面ミラー1で略垂直に反射したのち、第2の平面多層膜ミラー（平面ミラー）4で略直角に曲げて水平な方向へ戻して、マスク9を照明する。

【0018】即ち、本発明（請求項2）によれば、照明光（X線）の光軸を放射光光源から出射するX線の光軸と一致させることができるので、その後続く結像光学系もこの軸上に配置すれば良く、光学系全体の配置が単純になり調整が容易になる。なお、放射光光源からのX線は電子蓄積リング中の電子ビームの軌道面内に偏光しており、また、一般に多層膜ミラーは 45° 付近の入射角では入射面（入射光線と反射面の法線を含む平面）に垂直な方向に偏光したX線しか反射しない。従って、一般的には、平面多層膜ミラーによりX線を直角に曲げる方向は、水平方向ではなく垂直方向にする。（放射光光源の電子ビームの軌道面は、一般に水平面内にある）以下、実施例により本発明を更に具体的に説明するが、本

発明は実施例に限定されるものではない。

【0019】

【実施例】図1は本発明にかかるX線縮小投影露光装置の光学系配置図である。光源には放射光光源の電子蓄積リング6に設けられた偏向磁石（図示せず）から発した放射光ビームを用いた。光源の発光点の大きさは直径約2mm、発散角は上下左右とも $\pm 1\text{ mrad}$ である。

【0020】放射光ビームはX線から可視光までの連続なスペクトルを持っているので、まず、厚さ $1\mu\text{m}$ のBe（ベリリウム）フィルター7を透過させて、紫外線以上の長波長成分と、BeのK吸収端である 112 \AA 以下の短波長成分をフィルターの吸収により除去した。次に、入射角 86° の水平偏向ミラー8で放射光ビームを反射させた。このミラーは合成石英を平滑な平面に加工したものであり、X線を全反射するが、このとき、全反射臨界角の小さい短波長のX線は反射せずに除去される。以上のフィルター7と偏向ミラー8は、このように露光に用いる波長 134 \AA 付近の軟X線のみを取り出すためのものである。

【0021】次の3枚の多層膜ミラーが照明光学系5を構成する。まず、入射角 46° の第1の平面多層膜ミラー（平面ミラー）3により放射光ビームを上方に折り曲げ、入射角 2° の球面多層膜ミラー（球面ミラー）1により略垂直に反射した後、入射角 46° の第2の平面多層膜ミラー（平面ミラー）4により放射光ビームを水平方向に折り曲げた。

【0022】第1の平面ミラー3へ入射する放射光ビームの光軸と第2の平面ミラー4で反射したビームの光軸は一致するように各ミラーを配置した。このような配置にすることで、予め結像光学系（ここではシュバルツシルドミラー）10の光軸を水平偏向ミラー8で折り曲げられた放射光ビームの光軸に一致するように調整しておき、その後この光軸に一致するよう照明光学系5を調整することができる。

【0023】照明光学系5の多層膜ミラーにおいて、X線を反射するための多層膜にはMo（モリブデン）/Si（シリコン）多層膜を用いた。多層膜の周期長は、それぞれのミラーの入射角に合わせて、中心波長 134 \AA のX線を反射するように最適化した。本実施例において、球面ミラー1の曲率半径は 3.6 m であり、その焦点距離 f は 1.8 m である。放射光光源の発光点から球面ミラー1までの距離 a は 13 m であるので、球面多層膜ミラー1で反射した放射光ビームは次の式（1）で決まる距離 $b=2.1\text{ m}$ 先で集束する。

【0024】

$$1/a + 1/b = 1/f \quad \dots (1)$$

この集光点位置には、次の式（2）で決まる倍率 $m=0.16$ で縮小された光源の像が形成される。

$$m = b/a \quad \dots (2)$$

また、この位置に集束する放射光ビームの発散角は、光

源からの発散角を θ_1 として、次の式（3）で決まる θ_2 で与えられる。

【0025】

$$\sin \theta_2 = \sin \theta_1 / m \quad \dots (3)$$

放射光光源からのX線の発散角 θ_1 は 1 mrad なので、 $\sin \theta_2$ は 0.00625 となる。このようにして形成された光源の像の位置に、透過型のX線マスク9を配置した。これは、厚さ $0.1\mu\text{m}$ のSiN（シリコンナイトライド）のメンブレンの上に、厚さ $0.2\mu\text{m}$ のAu（金）のパターンが形成されたものである。

【0026】マスク9を透過したX線は、縮小倍率 $1/32$ のシュバルツシルドミラー10によりウェファー11上に結像する。ウェファー11には、X線に感光するフォトリソグが塗布されており、マスク9上のパターンは $1/32$ に縮小されて、レジストパターンに転写される。シュバルツシルドミラーは2枚の同心球面からなる結像光学系であり、その反射面にはMo/Si多層膜が形成されている。このシュバルツシルドミラー10の開口数（NA）は、ウェファー側で 0.2 であり、 $\lambda/2\text{ NA}$ で決まる回折限界の解像力は $0.03\mu\text{m}$ である。シュバルツシルドミラー10のマスク側の開口数は $0.2/32=0.00625$ であるので、上記の照明光学系5によってマスク9を照明するX線の発散角はこの値と一致しており、インコヒーレント照明の条件が満たされている。

【0027】このようなX線縮小投影露光装置により露光実験を行った。レジストにはPMMA（ポリメチルメタクリレート）を用いた。 $1.6\mu\text{m}$ ラインアンドスペースのパターンのマスクを用いて露光を行ったところ、いずれの方向のパターンに対しても、回折限界に近い寸法の $0.05\mu\text{m}$ のラインアンドスペースのレジストパターンが得られた。

【0028】

【比較例】比較のために、図4に示すような簡易型の照明光学系を用いた露光実験を行った。ここでは、水平偏向ミラー18が曲率半径 36 m の緩い球面になっており、その入射面（ここでは水平面）内の焦点にマスク9が設置されている。水平偏向ミラー18への放射光ビームの入射角は実施例と同じ 86° である。このように球面鏡を斜入射の配置で用いると、大きな非点収差を生じる。この場合は、水平面内の光線はマスク9上で集光し、その発散角はシュバルツシルドミラー10のマスク側開口数と一致してインコヒーレント照明の条件を満たすが、垂直面内の光線はほぼ平行にマスク9を照明するのでコヒーレント照明となる。

【0029】このような配置で同様の露光実験を行ったところ、垂直方向のラインアンドスペースパターンでは $0.05\mu\text{m}$ まで解像できたが、水平方向のラインアンドスペースパターンでは $0.15\mu\text{m}$ は解像したが、 $0.1\mu\text{m}$ は解像しなかった。以上の結果から、X線縮小投影露光装置において、照明光学系の開口数を結像光学系の入射側

開口数に一致させることが回折限界の解像力を得るために重要であることが判った。

【0030】なお、本実施例においては透過型のX線マスクを用いたが、本発明はこれに限定されることなく、反射型のX線マスクを用いた場合にも同様の効果が得られることはいふまでもない。

【0031】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、マスク上のパターンを結像光学系の入射側開口数に等しい等方的な発散角を有するX線で照明することができるので、結像光学系の回折限界の解像力を得ることができる。また、楕円鏡のような非球面ミラーを使用した場合と比べると、本発明では球面ミラーを用いるので、X線の波長域においても充分な形状精度をもつミラーを従来の技術で容易に製造することができる。また、楕円鏡のように軸外で急速に収差が拡大することがないので、比較的大きな照明領域を得ることができる。

【0032】また、本発明（請求項2）によれば、少なくとも3枚の多層膜ミラーからなる照明光学系は、その入射側と出射側の光軸が一致しているため、光学系全体の配置が単純化されて光学系の位置調整が容易になる。さらに、放射光をX線の光源に用いたX線縮小投影露光においては、放射光の電子蓄積リングから放射状に多数のビームラインが設置され、各ビームラインにそれぞれ露光装置を設置することができる。従って、1台の電子蓄積リングにより多数の露光装置を設置することが可能

となり、高価な放射光光源を有効に活用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】は本発明の実施例であるX線縮小投影露光装置の光学系配置図である。

【図2】は本発明にかかる球面多層膜ミラーによる垂直入射の反射例を示す図である。

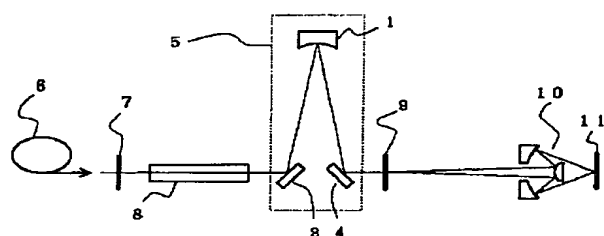
【図3】はインコヒーレント照明とコヒーレント照明の場合のOTFの違いを示す図である。

【図4】は本発明の比較例である簡易型照明系によるX線縮小投影露光装置の光学系配置図である。

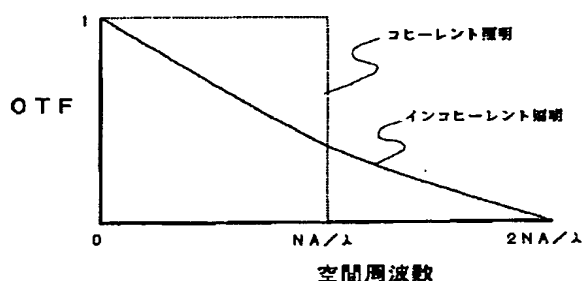
【主要部分の符号の説明】

- 1・・・球面多層膜ミラー（球面ミラー）
 - 2・・・球面ミラーの焦点
 - 3・・・第1の平面多層膜ミラー（平面ミラー）
 - 4・・・第2の平面多層膜ミラー（平面ミラー）
 - 5・・・照明光学系
 - 6・・・放射光光源の電子蓄積リング
 - 7・・・Beフィルター
 - 8、18・・・水平偏向ミラー
 - 9・・・マスク
 - 10・・・シュバルツシルドミラー（結像光学系の一例）
 - 11・・・ウェファァー
- 以上

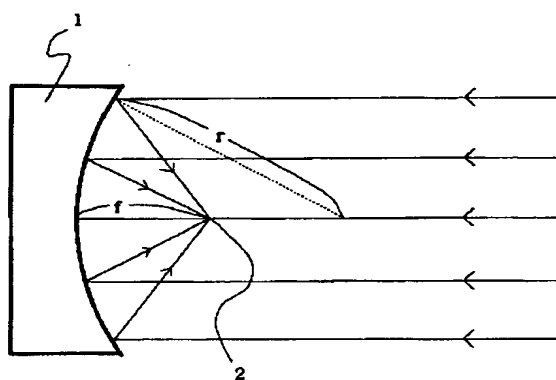
【図1】



【図3】



【図2】



【図4】

